
Gens, Wolfgang; Petzoldt, Jürgen; Müller, Reinhard. :

***Drehzahlstellbares Drehstromantriebssystem geringer Leistung
mit Mikroprozessorsteuerung***

Zuerst erschienen in:

4. Symposium Maritime Elektronik : [20. bis 22. April 1983 in Rostock]
/ Wilhelm-Pieck-Universität Rostock, Sektion Technische Elektronik ;
[1]: Maritime Energieelektronik. - Rostock, 1983, S. 167-175

Drehzahlstellbares Drehstromantriebssystem geringer Leistung mit Mikroprozessorstuerung

Doz. Dr.-Ing. W. Gens, Dr.-Ing. J. Petzoldt, Dipl.-Ing. R. Müller
TH Ilmenau, Sektion Elektrotechnik -132

Einleitung;

Verbesserte leistungselektronische Bauelemente und die vielfältigen Möglichkeiten der Mikroprozessortechnik haben der Drehstromantriebstechnik im internationalen Maßstab zu einem bedeutenden Aufschwung verholfen. Die Mikroprozessortechnik zur Ansteuerung von selbstgelöschten Wechselrichtern, die in der Drehstromantriebstechnik eingesetzt werden, gestattet beispielsweise die Erfüllung unterschiedlichster Steuerungsaufgaben mit einer nahezu einheitlichen Hardwarestruktur. Weiterhin ermöglicht die Weiterentwicklung der Leistungstransistoren deren zunehmenden Einsatz in der Wechselrichtertechnik, was zu neuen Gesichtspunkten bei der Schaltungsauswahl und -dimensionierung führt. Der Vortrag stellt deshalb insgesamt ein in Bild 1 dargestelltes Drehstromantriebssystem, bestehend aus ungesteuertem Eingangsgleichrichter, Gleichspannungszwischenkreis, Transistorwechselrichter, Asynchronmaschine und Steuergerät auf Mikroprozessorbasis vor und beschäftigt sich in einem ersten Schwerpunkt mit dem Steuergerät zur Ansteuerung von Spannungswechselrichtern.

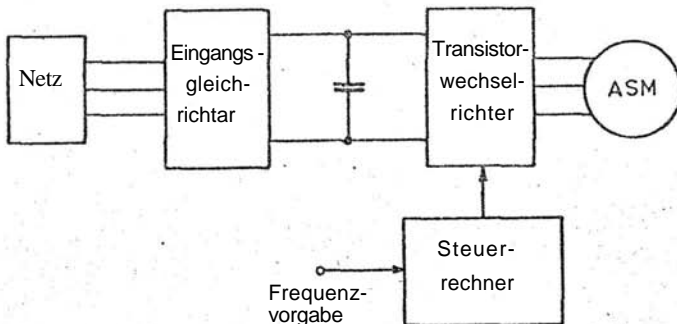


Bild 1. Blockstruktur des Antriebs

Ein zweiter Schwerpunkt behandelt einige Probleme der Verwendung von Leistungstransistoren in Wechselrichterschaltungen.

1. Steuerrechner für Pulsspannungswechselrichter

An der TH Ilmenau, Sektion Elektrotechnik wurde ein mikroprozessorgesteuertes Gerät zur Ansteuerung von Pulsspannungswechselrichtern entwickelt. Das autonom arbeitende Gerät besteht aus einem Gehäuse (240 x 240 x 120) mm, in dem neben dem Netzteil und den Bedieneinheiten (BCD-Schalter), Tasten) eine ZVE (170 x 95) sowie eine periphere Karte mit der gleichen Abmessung untergebracht ist. Die wesentlichen Funktionen sind in ein Bedien- und Hintergrundprogramm eingebunden, welches aus den Informationen des BCD-Schalters (gewünschte Frequenz der Wechselrichterausgangsspannung) sowie einiger Tasten (HOCH/TIEF; HAKD/AUTO; ATIK/RECHIS/bIKgB _ KEVERSIEREN) die Zeitkonstanten der CTC's sowie die entsprechende Betriebsart - freilaufende Modulation oder Puls-
musterabarbeitung - auswählt. Die Grenze für den Betriebsartenwechsel ist frei wählbar. Der Steuerrechner arbeitet s. Z. bis zu 4S Hz in der freilaufenden Modulation und schaltet danach einen Phasensprung auf die Abarbeitung von Impulsmustern um.

Bei der Anwendung des Mikroprozessors für diese Aufgabe ist auf die Bauelementefunktion des Prozessors und seiner Peripherie, orientiert worden. Damit verschwindet der "Rechenanlagen-Charakter" in der Steuerung. Es ist seitens der Peripherie eine gezielte Spezifikation der Lösung vorgegeben, die die Ausgabe von in weiten Grenzen softwaremäßig steuerbaren Impulsfolgen gestattet. Diese Anordnung ermöglicht die Nutzung der Vorzüge des Mikroprozessors, ohne die damit oft verbindenden Nachteile unfizierter und industriell hergestellter Rechnersysteme, mit denen spezifizierte Steuerungsaufgaben kleineren Umfangs ökonomisch nicht sinnvoll realisiert werden können, in Kauf nehmen zu müssen.

T0 stellt in Reihe mit T2 einen 12 Bit-Zähler dar. Nach Ausgabe von T0 = 8 ist durch Programmierung von T2 = 47/01 ... FF eine Impulsfolge an X0 realisiert, welche bei konstantem Pulsbreitenverhältnis die Pulsfrequenz bestimmt. Bei maximaler Auflösung (Vollaussteuerung von T5 und T1 = 01) beträgt sie maximal 5 kHz. Mit T5 ist es möglich, ausgehend von X0 eine konstante Setzperiodendauer für FFR zu erwirken. Ist das Setzen von FFR erfolgt, so ist über T6 die Zeit bis zum nachfolgenden Rücksetzen von FFR programmierbar, wodurch an Q(FFR) ein programmierbares pulsbreitenmoduliertes Signal entsteht. Den Zeitpunkt der Programmierung der Zeitkonstanten T6, welche das Pulsbreitenverhältnis $3J5/T6$ an QFF bestimmt, bestimmen eventuell vorhandene Hintergrund- oder Interruptprogramme.

Die gleiche Struktur kann zur Ausgabe von periodischen oder auch stochastischen Impulsmustern verwendet werden. Dazu werden die CTC-Kanäle, die die Pulsbreite auszählen, so programmiert, daß sie einen Interrupt liefern, wenn die Rückflanke von Q(FF) erscheint. Dieser Interrupt bietet die Möglichkeit, softwaremäßig zu organisieren, welche Zeitkonstanten als nächste (nach Übertrag von T0) sowohl für 15 als auch für 16 wirksam werden. Bei entsprechender Abspeicherung fester, dem periodischen Impulsmuster entsprechender Zeitkonstanten und der Realisierung des zyklischen Folgenschlusses dieser Impulse ist eine z. B. sinusoidale Grundschwingung mit einer vorgegebenen Amplitude erreichbar. Die Geschwindigkeit für die Abarbeitung dieser Impulse kann durch die Programmierung von 10 und 12 erfolgen.

1.2. Softwarebeschreibung

1.2.1. Softwarestruktur für freilaufende Modulation

Für die Realisierung von beliebigen pulsbreitenmodulierten Zeitfunktionen der WB-Ausgangsspannung ist die „beschriebene Hardwarestruktur sehr günstig. Die Software beläuft sich auf drei OUT-Befehle auf die entsprechenden CTC-Adressen T6, S3, TA mittels Steuerwort 04FH.

Für eine sinusoidale Modulation wurde eine aus 256 Werten bestehende Sinuskurve im Speicher niedergelegt. Die Werte dieser Kurve werden beim Betrieb des Programmes entlang der Abszisse zeitlich nacheinander mit der Amplitude gewichtet und entsprechend 120°

phasenverschoben auf in Absent 1.1. genannter Weise ausgegeben. Die Periodendauer für das stückweise Bnt.langschreiten an der Siuskur-/: liefert einen Interrupt, der von T3 und T4 als modifizierter 16 Bit-Zähler gebildet wird. Mit der Programmierung von T3 und T4 lässt sich die Frequenz der auszugebenden Grundschiwingung . verstellen. Die von T3 und T4 eingestellte Zeit ist nicht unabhängig von der Berechnungszeit des angegebenen Interruptprogramms, und es müssen für die e:akte Bealisierung der Ausgangsfrequen^ besondere Vorkehrungen getroffen werden.

1.2.2. Software struktur für die synchronisiert" Mc-'ulation

Die Software hierfür besteht im wesentlichen aus drei kleinen Interruptprogrammen, die jeweils- durch das Abzählen von T6, T8 und TA gestartet werden und die mit einer Tabelle, die für eine bestimmte Amplitude der Grundschiwingung ein entsprechendes Sündmuster enthält, korrespondiert, nachdem die impulsbiHenden Zeitkonstanten T5, "26, vor dem "Abfahren" des Musters mit den um 120 ° versetzten Anfangsimpulsen oder Impulsabschnitten geladen worden sind, erfolgt eine für alle Kanäle synchrone Triggarrung, so daß zu den richtigen Zeiten die drei Interrupte aktiviert werden.

Jeder in jeder Phase angelaufene Interrupt dreht für sich das Impulsmuster um einen Impuls weiter und organisiert somit den nächsten Impuls dieser Phase. Die Geschwindigkeit für das Abarbeiten des gesamten Impulsmusters, wird durch Programmierung von T0 und T2 erreicht.

2. Einsatz von Transistoren: in Y.'echselrichtergchaltunTrn

Die Anwendung von Transistoren in Stromrichöerschaltungen zur Speisung von Drehstromasynchronmaschinen bietet verschiedene Möglichkeiten in der Wahl der Schaltungsstruktur. Gegenwärtig werden ausschließlich spannungseinprägende Pulswächscirichter nach -ler im Bild 3 gezeigten Schaltung angewendet.

Sine ungesteuerte Diodenbrücke stellt bei dem gegenwärtig zur Diskussion stehenden Leistungsbereich <10 kW die Singangsgleichapannung aus dem 380 V-rietz bereit. Sine Rückspeisung dar evtl. anfallenden 3remsenergie ist damit nicht möglich. Ei wird deshalb vielfach neben den sechs notwendigen Transistorschaltarn ein weiterer vorgesehen, der bei zu hoher Zwischenkraisspaonuus die BrceSensrgie

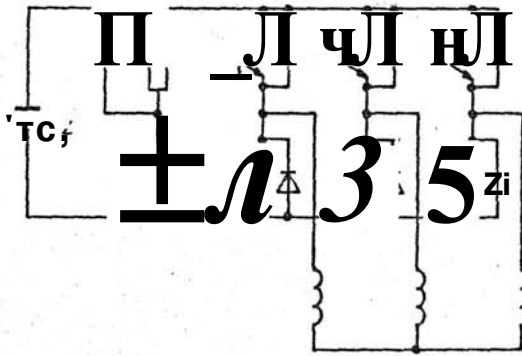


Bild3: Transistorwechselrichter

einen; Widerstand zuführt. Es werden damit insgesamt sieben Transistorschalter und sieben Freilaufdiöden benötigt. Ein Iracästor-schalter besteht meist aus mehreren parallel geschalteten Binzeltransistoren, die ihren Basisstrom entweder direkt aus einer leistungsstarken Treiberschaltung oder von einem vorgeschalteten Darlingtontransistor erhalten. Hinter dem zunächst recht einfach erscheinenden Aufbau einer solchen Schaltung verbergen sich eine Reihe von Problemen, die sich in notwendigen zusätzlichen Beschaltungsmaßnahmen und komplizierten Treiber- und Schutzschaltungen dokumentieren. Um weitgehend sinusförmige Motorströme zu erzielen, wird einerseits angestrebt, die Schaltung mit einer möglichst hohen Pulsfrequenz zu betreiben, andererseits steigt aber mit der Pulsfrequenz der Aufwand für die zusätzlichen Baschaltungsmaßnahmen. Der Kompromiß zwischen Pulsfrequenz und Beschaltungsaufwand, der von der Optimierung des Gesamtsystems Wechselrichter - Motor und dessen Zuverlässigkeit diktiert wird, ist Gegenstand gegenwärtig laufender Untersuchungen. Gleichzeitig sind in diesem Zusammenhang auch andere mögliche Wechselrichterschaltungen, z. B. stromeinprägende Wechselrichter, von Interesse. Im folgenden werden einige Erfahrungen vorgestellt, die beim Aufbau und Betrieb eines an der TEE vorhandenen Transistorwechselrichters gesammelt worden sind.

2.1. Schaltentlastung

Unerwünschte Schaltverluste Im Transistorschalter entstehen durch das gleichzeitige Auftreten von Strom und Spannung am Transferor. Sie müssen beim angestrebten Betrieb mit hohen Pulsfrequenzen unbedingt durch zusätzliche Schaltungen, die im Einschaltaugenblick den Stromanstieg und im Ausschaltmoment den Spannungsanstieg verzögern, reduziert werden.

Im Einschaltaugenblick eines Transistorschalters ist in der Regel die im gleichen Schaltungszweig liegende Freilaufdiode leitend, so daß der Transistor zunächst den Laststrom und zusätzlich den Rückstrom der Diode führen muß. Eine wirksame Verzögerung des Stromanstieges bewirkt eine Induktivität in Reihe zu jedem Transistorschalter oder auch die Verwendung von sättigbaren Induktivitäten sowohl im Transistorkreis als auch in Reihe zu den Freilaufdioden. Unabhängig von den verschiedenen Möglichkeiten der Einfügung derartiger Induktivitäten in die Schaltung muß während des Abschaltens immer die in den Induktivitäten gespeicherte Energie abgebaut werden, wodurch insgesamt der Beschaltungsaufwand weiter ansteigt. Man muß in jedem Fall sehr, genau prüfen, mit welchem Aufwand die durch diese Maßnahme mögliche Frequenzerhöhung i erkaufte wird, oder ob man auf eine Einschaltentlastung und damit auf die Frequenzerhöhung verzichtet.

Eine Ausschaltentlastung erfüllt neben der Verringerung der Ausschaltverluste die für die zur Verfügung stehenden Transistoren mit $U_{CE} < 600 \text{ V}$ noch wichtigere Aufgabe, den Betrieb des Transistors

im zulässigen Arbeitsbereich zu sichern. Der Spannungsanstieg muß so weit verzögert werden, daß bei Abklingen des Stromes auf Null die Spannung gerade noch unterhalb des zulässigen Wertes liegt. Die einfachste Ausführungsform einer solchen Beschaltung besteht aus einer im Bild 4 dargestellten RCD-Beschaltung parallel zu jedem Transistorschalter.

Da im ungeschalteten Zustand desselben die gesamte im Kondensator gespeicherte Energie im Widerstand in Wärme umgesetzt wird, ist eine solche Schaltung für Zwischenkreisspannungen von 520 V und Frequenzen $> 5 \text{ kHz}$ nicht mehr vertretbar. Abhilfe schafft die Anwendung einer aufwendigeren im Bild 5 dargestellten bekannten Beschaltung, die prinzipbedingt verlustlos ist.

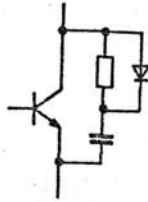


Bild4: verlustbehaftete
Ausschaltentlastung

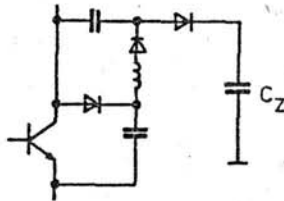


Bild5-- verlustfreie
Ausschaltentlastung

"Das Grundprinzip aller Varianten dieser Schaltung besteht darin, daß im eingeschalteten Zustand infolge eines Schwingungsvorganges ein Ladungsaustausch zwischen C_Z und C_1 stattfindet und somit der für das Abschalten notwendige Zustand eingenommen wird« Die während des Ausschaltens anfallende Energie wird dem Zwischenkreiskondensator C_Z zugeführt. Auf eine solche oder ähnliche Beschaltung wird man bei hoher Zwischenkreisspannung und hoher Pulsfrequenz nicht verzichten können.

2.2. Treiberschaltung

Treiberschaltungen haben die Aufgabe, den erforderlichen Basisstrom mit möglichst hoher Anstiegsgeschwindigkeit so bereitzustellen, daß der Transistor möglichst an der Sättigungsgrenze gehalten wird und sich während der Sperrphase des Transistorschalters eine negative Basis-Emitterspannung einstellt. Weiterhin ist

Thafte/ jeder einzelnen Treiberschaltung ein eigenes
Beb:.....*steil zuzuordnen. Ein zunächst verwendetes zentrales
 Ifatzstell mit einem einzigen 50 Hz-Hotztrafo hat sich nicht be-
 währt. Die Treiberschaltung ist in engem Zusammenhaue mit der
 Schutzkonzeption zu entwerfen. Verwendet man ein? seabstschutzenj»
 de Anordnung, die entweder bei Überschreiten eines zulässigen
 Emitterstromes oder einer zulässigen Kollektor-Enitter-Spannung
 den Basisirora abschaltet, so steigt erstens der Schaltungsauf-
 wand, verbunden mit der Abnahme der Zuverlässigkeit an, und zwei-
 tens ist eine notwendige Synchronisation zwischen den Auslöse-
 signalen der Schutzeinrichtung und den Signalen der übergeord-
 neten Steuereinrichtung nur schwierig zu realisieren. Es muß
 künftig sorgfältig untersucht werden, welcher Aufwand hierfür
 mindestens notwendig ist, oder ob zum Beispiel durch Überdimen-
 sionierung oder andere Grundsaltungen die Zuverlässigkeit er-
 höht werden kann.

Die Anwendung von Transistoren in Stromrichtersehaltungen zur
 Speisung von Asynchronmaschinen verspricht bei genauer Betrach-
 tung noch nicht die erhofften Vorteile. Es sind aufwendige zu-
 sätzliche MaE-nahmen zum sicheren Betrieb der Transistoren not-
 wendig. Dennoch sind weitere Untersuchungen von Interesse, um vor
 allem entscheiden zu können, welchen Vorteil jede einzelne Schal-
 tungsnaßnahme aufweist und ob der erforderliche Mehraufwand ge-
 rechtfertigt ist. Mit dem jetzigen Kenntnisstand läßt sich jedoch
 feststellen, daß eine Wechselrichterauslegung immer vom Anwen-
 dungsfall des gesamten Antriebes abhängig sein muß. Für Antriebe
 mit höchsten dynamischen Anforderungen z. B. bei Werkzeugma-
 schinen, ist es erforderlich, auch aufwendige Maßnahmen zu er-
 greifen, um die Pulsfrequenz zu erhöhen. Untersuchungen sur Dy-
 namik, die wesentlich von der Regelstruktur beeinflußt jwird,
 wurden noch nicht vorgenommen. Für die überwiegende Anzahl von
 Antrieben mit geringeren dynamischen Anforderungen sind einfache-
 •re tfechselrichterschaltungen ausreichend. Als Antriebe für Pum-
 pen und Verdichter können Wechselrichterschaltungen mit erheblich
 reduzierten Beschaltungsaufwand eingesetzt werden. Zukünftige
 Forschungsarbeiten v/erden aus den genannten Gründen auf diese Pro-
 blematik ausgerichtet v/erden. Eine detaillierte Darstellung'der
 experimentellen Ergebnisse wird Gegenstand des Vortrages auf der
 Tagung sein.